

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2003-329767  
(P2003-329767A)

(43) 公開日 平成15年11月19日 (2003. 11. 19)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード(参考)

G 0 1 S 13/34  
13/32

G 0 1 S 13/34  
13/32

5 J 0 7 0

審査請求 有 請求項の数14 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2002-137682(P2002-137682)

(22) 出願日 平成14年5月13日 (2002. 5. 13)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 矢野 拓人

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(72) 発明者 中川 才

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(74) 代理人 100073759

弁理士 大岩 増雄 (外3名)

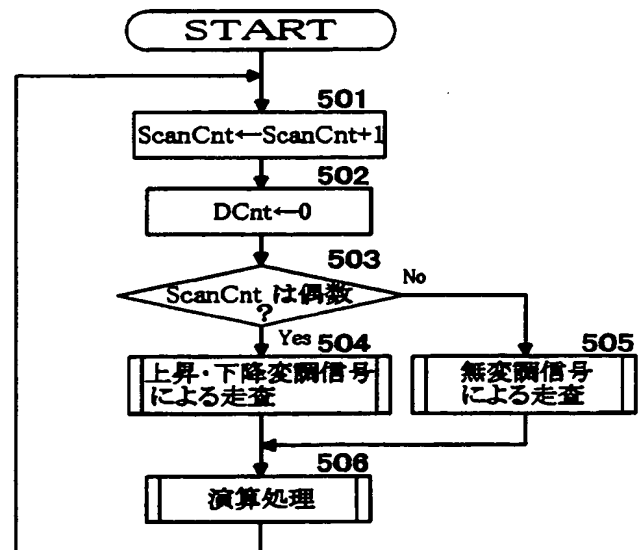
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーダ装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、上記の事情に鑑みてなされたものであり、測定対象が2以上存在する場合でも各測定対象の距離又は相対速度を測定することができるとともに、走査中の一方向当たりの測距周期の短いレーダ装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 送信波を生成する周波数変調手段11と、生成された送信波を送出するとともに、測定対象による反射波を受信する送受信手段15aと、送受信手段の送受信方向を所定の走査範囲において繰り返し走査させる走査手段21と、送信波及び受信波に基づいて測定対象との距離又は相対速度を求める信号処理手段10とを備えたレーダ装置であって、周波数変調手段11が、周波数上昇区間31、周波数下降区間32及び周波数無変調区間33のいずれか2つの区間を交互に繰り返す第1の送信波と、残る1つの区間を繰り返す第2の送信波とを生成し、第1の送信波及び第2の送信波が走査周期に同期して切り替えられる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 周波数が時間軸上で増大する周波数上昇区間、周波数が時間軸上で減少する周波数下降区間及び周波数が時間軸上で一定となる周波数無変調区間からなる送信波を生成する周波数変調手段と、生成された送信波を送出するとともに、測定対象による反射波を受信する送受信手段と、送受信手段の送受信方向を所定の走査範囲において繰り返し走査させる走査手段と、送信波及び受信波に基づいて測定対象との距離又は相対速度を求める信号処理手段とを備えたレーダ装置において、周波数変調手段が、周波数上昇区間、周波数下降区間及び周波数無変調区間のいずれか 2 つの区間を交互に繰り返す第 1 の送信波と、残る 1 つの区間を繰り返す第 2 の送信波とを生成し、第 1 の送信波及び第 2 の送信波が走査周期に同期して切り替えられることを特徴とするレーダ装置。

【請求項 2】 第 1 の送信波及び第 2 の送信波が、走査周期ごとに交互に送出されることを特徴とする請求項 1 に記載のレーダ装置。

【請求項 3】 上記第 1 の送信波が、周波数上昇区間及び周波数下降区間からなり、上記第 2 の送信波が周波数無変調区間からなることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のレーダ装置。

【請求項 4】 周波数が時間軸上で増大する周波数上昇区間、周波数が時間軸上で減少する周波数下降区間及び周波数が時間軸上で一定となる周波数無変調区間からなる送信波を生成する周波数変調手段と、生成された送信波を送出するとともに、測定対象による反射波を受信する送受信手段と、送受信手段の送受信方向を所定の走査範囲において繰り返し走査させる走査手段と、送信波及び受信波に基づいて測定対象との距離又は相対速度を求める信号処理手段とを備えたレーダ装置において、周波数変調手段が、周波数上昇区間、周波数下降区間及び周波数無変調区間のいずれか 2 つの区間を交互に繰り返す第 1 の送信波と、残る 1 つの区間及び第 1 の送信波を構成するいずれか 1 つの区間を交互に繰り返す第 2 の送信波とを生成し、第 1 の送信波及び第 2 の送信波が走査周期に同期して切り替えられることを特徴とするレーダ装置。

【請求項 5】 第 1 の送信波及び第 2 の送信波が、走査周期ごとに交互に送出されることを特徴とする請求項 4 に記載のレーダ装置。

【請求項 6】 上記第 1 の送信波が、周波数上昇区間及び周波数下降区間からなり、上記第 2 の送信波が周波数上昇区間及び周波数無変調区間からなることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載のレーダ装置。

【請求項 7】 上記第 1 の送信波が、周波数上昇区間及び周波数下降区間からなり、上記第 2 の送信波が周波数下降区間及び周波数無変調区間からなることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載のレーダ装置。

【請求項 8】 上記第 1 の送信波が、周波数上昇区間及び周波数無変調区間からなり、上記第 2 の送信波が周波数下降区間及び周波数無変調区間からなることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載のレーダ装置。

【請求項 9】 送信波を生成する周波数変調手段と、生成された送信波を送出するとともに、測定対象による反射波を受信する送受信手段と、送受信手段の送受信方向を所定の走査範囲において繰り返し走査させる走査手段と、送信波及び受信波からビート周波数を生成するビート信号生成手段と、ビート周波数に基づいて測定対象との距離又は相対速度を求める信号処理手段とを備えたレーダ装置において、

周波数変調手段が、周波数が時間軸上で増大する周波数上昇区間、周波数が時間軸上で減少する周波数下降区間及び周波数が時間軸上で一定となる周波数無変調区間のうち 2 以下の区間を繰り返す第 1 の送信波と、残りの全ての区間を含む 2 以下の区間を繰り返す第 2 の送信波とを生成し、第 1 の送信波及び第 2 の送信波が走査周期に同期して切り替えられることを特徴とするレーダ装置。

【請求項 10】 第 1 の送信波及び第 2 の送信波が、走査周期ごとに交互に送出されることを特徴とする請求項 9 に記載のレーダ装置。

【請求項 11】 上記信号処理手段は、走査範囲に含まれる複数の走査方向のそれぞれについて、周波数上昇区間、周波数下降区間及び周波数無変調区間の各ビート周波数から測定対象との距離又は相対速度を求めることを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載のレーダ装置。

【請求項 12】 上記信号処理手段が、周波数上昇区間のビート周波数及び周波数下降区間のビート周波数の各組み合わせについて、周波数値及び周波数差の絶対値を求めるステップと、周波数値又は周波数差の絶対値が周波数無変調区間のビート周波数と等しくなる周波数上昇区間のビート周波数及び周波数下降区間のビート周波数の組み合わせを選択するステップと、周波数値に基づいて測定目標までの距離を求めるステップと、周波数差に基づいて測定目標との相対速度を求めるステップからなる処理を各走査方向ごとに実行することを特徴とする請求項 11 に記載のレーダ装置。

【請求項 13】 上記ビート信号生成手段は、送信波及び受信波から得られるビート信号の実数部の周波数成分を求め、信号処理手段が、求められたビート周波数に基づいて、測定対象との距離又は相対速度を求めることを特徴とする請求項 9、10 又は 11 に記載のレーダ装置。

【請求項 14】 上記信号処理手段が、周波数上昇区間のビート周波数及び周波数下降区間のビート周波数の各組み合わせについて、周波数値及び周波数差の絶対値を求めるステップと、周波数値又は周波数差の絶対値が周波数無変調区間のビート周波数と等しくなる周波数上昇区間のビート周波数及び周波数下降区間のビート周波数の

組合わせを選択するステップと、周波数和又は周波数差の絶対値のうち周波数無変調区間のビート周波数と異なる値に基づいて、測定目標までの距離を求めるステップと、周波数和又は周波数差の絶対値のうち周波数無変調区間のビート周波数と等しくなる値に基づいて、測定目標との相対速度を求めるステップからなる処理を各走査方向ごとに実行することを特徴とする請求項 13 に記載のレーダ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーダ装置に係り、更に詳しくは、電波を送信し、その反射波を受信することによって測定対象を検出し、検出された測定対象までの距離や相対速度等を算出するレーダ装置、例えば車載レーダ装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】図 15 は、従来のレーダ装置を用いて 1 つの測定対象についてレーダ測定を行う場合の様子を示した図である。図中の 71 はレーダ装置、72 はレーダ装置の走査範囲、73 は測定対象、R は測定対象までの距離、V は測定対象との相対速度、 $\theta$  は測定対象の方向を示している。レーダ装置 71 は車両等の移動体に搭載され、レーダ信号を送受信し、その周波数解析を行うことにより、他の移動体との距離、相対速度、方向を測定するレーダ送受信装置であり、ここでは、測定対象 73 である車両に後続する車両に搭載されたレーダ装置であるものとする。

【0003】このレーダ装置 71 は、送信波に周波数変調を施して送信するとともに、当該送信波の測定対象 73 における反射波を受信し、この反射波及び送信波のビート信号の周波数に基づいて、測定対象 73 との距離 R、相対速度 V を算出している。また、所定角度からなる走査範囲 72 内で送信方向を変化させて、測定対象 73 の方向  $\theta$  を算出している。なお、相対速度 V はレーダ装置 71 及び測定対象 73 が離反する方向を正とし、方向  $\theta$  は、レーダ装置 71 の搭載車両の進行方向に対する角度とする。

【0004】図 16 は、図 15 のレーダ装置 71 の送受信波形の一例を示した図であり、縦軸に周波数、横軸に時間を取り、送信波（実線）及び受信波（破線）の波形が示されている。送信波には、周波数を時間軸上で線形に増大させる上昇区間 81 と、時間軸上で線形に減少させる下降区間 82 とを交互に繰り返す三角波の周波数変調が施されており、その繰返周波数を  $f_m$ 、中心周波数を  $f_0$ 、変調幅を  $\Delta f$  とする。なお、繰返周期  $1/f_m$  に相当する送信波を送信し始めてから、その反射波を受信し終えるまでの時間を送受信時間 86 とする。

【0005】送信波と受信波との間には、測定対象 73 までの距離 R に基づく送受信時刻のずれ  $\Delta t$  が生じるとともに、測定対象 73 との相対速度 V に基づく中心周波

数のずれ（ドップラーシフト） $f_b$  が生じる。このため、送受信信号をミキシングすることによって、上昇区間 81 では周波数  $f_u$  のビート信号が得られ、下降区間 82 では周波数  $f_d$  のビート信号が得られる。

【0006】図 17 は、図 16 の送受信波に基づいて求められるビート信号のパワースペクトルの一例を示した図であり、縦軸に受信強度、横軸に周波数をとって、上昇区間 81 及び下降区間 82 におけるビート信号のスペクトル分布が示されている。図中の  $f_r$  は  $f_u$  及び  $f_d$  の平均値、 $f_p$  は  $f_u$  及び  $f_d$  から  $f_r$  までの距離であり、 $f_u$ 、 $f_d$  は  $f_r$  及び  $f_p$  を用いて次式（1）、（2）により表される。

【数 1】

$$f_u = f_r - f_p \quad (1)$$

$$f_d = f_r + f_p \quad (2)$$

【0007】ここで、 $f_r$  は測定対象 73 までの距離 R に比例する量、 $f_p$  は測定対象 73 の相対速度 V に比例する量であり、 $f_r$ 、 $f_p$  は光速 C、距離 R、相対速度 V を用いて次式（3）、（4）により表される。

【数 2】

$$f_r = 4 \cdot f_m \cdot \frac{\Delta f}{C} \cdot R \quad (3)$$

$$f_p = 2 \cdot \frac{f_0}{C} \cdot V \quad (4)$$

【0008】上式（1）～（4）から、レーダ装置 71 から測定対象 73 までの距離 R、レーダ装置 71 及び測定対象 73 の相対速度 V は、それぞれ  $f_u$ 、 $f_d$  の加減算処理を用いて次式のように表される。

【数 3】

$$f_u + f_d = 2f_r \quad (5)$$

$$f_u - f_d = -2f_p \quad (6)$$

$$R = C_1 \cdot f_r = C_1 \cdot \frac{f_u + f_d}{2} \quad (7)$$

$$V = C_2 \cdot f_p = C_2 \cdot \frac{f_u - f_d}{2} \quad (8)$$

【0009】但し、

【数 4】

$$C_1 = \frac{C}{4 \cdot f_m \cdot \Delta f} \quad (9)$$

$$C_2 = \frac{C}{2 \cdot f_0} \quad (10)$$

【0010】上式（7）～（10）に示したように、上昇区間 81 のビート信号の周波数  $f_u$  と下降区間 82 の

ビート信号の周波数  $f_d$  が得られれば、測定対象 73 までの距離  $R$ 、測定対象 73 との相対速度  $V$  を求めることができる。

【0011】ところで、上述したレーダ装置は、測定対象 73 が 1 つしか存在しない場合には、その距離  $R$  及び相対速度  $V$  を正確に求めることができるが、測定対象 73 が複数存在する場合は、各々の測定対象との距離  $R$  及び相対速度  $V$  を決定することが困難になるという問題があった。

【0012】図 18 は、従来のレーダ装置を用いて 2 つの測定対象についてレーダ測定を行う場合の様子を示した図である。図中の 71 はレーダ装置、72 はレーダ装置の走査範囲、7a、7b は測定対象、 $R_a$ 、 $R_b$  は測定対象までの距離、 $V_a$ 、 $V_b$  は各測定対象との相対速度を示している。レーダ装置 71 は、測定対象 7a、7b である 2 台の車両に後続する車両に搭載されたレーダ装置である。

【0013】図 19 は、図 17 と同様にして、測定対象が 2 つの場合に求められるビート信号のパワースペクトルの一例を示した図であり、図 16 に示された変調信号をレーダ装置 71 から送信した場合が示されている。測定対象が 2 つの場合、図 16 に示した三角波の周波数変調の上昇区間 81、下降区間 82 において得られるビート信号の周波数成分は、それぞれ少なくとも測定対象の数（ここでは 2）だけ発生する。すなわち、上昇区間 81 の送信波が 2 つの測定対象 7a、7b に反射して得られたビート信号の周波数成分  $f_{ua}$ 、 $f_{ub}$  と、下降区間 82 の送信波が 2 つの測定対象 7a、7b に反射して得られたビート信号の周波数成分  $f_{da}$ 、 $f_{db}$  が発生することになる。

【0014】このため、測定対象が 2 つ存在する場合には、 $\{f_{ua}, f_{da}\}$ 、 $\{f_{ua}, f_{db}\}$ 、 $\{f_{ub}, f_{da}\}$ 、 $\{f_{ub}, f_{db}\}$  の 4 つの組み合わせの中から測定対象 7a、7b のものとしての正しい 2 つの組み合わせを選択しなければ、測定対象 7a、7b との距離  $R_a$ 、 $R_b$  及び相対速度  $V_a$ 、 $V_b$  として間違っただけを算出してしまうという問題があった。

【0015】図 20 は、従来のレーダ装置 71 の送受信波形の他の例を示した図であり、縦軸に周波数、横軸に時間を取り、送信波（実線）及び受信波（破線）の波形が示されている。この信号波形は、測定対象が 2 以上の場合における上記課題を解決するために特開平 7-20233 号公報に開示されたものである。

【0016】この送信波は、周波数が時間的に変化する上昇区間 121 及び下降区間 122 と、周波数が時間的に変化しない無変調区間 123 とを繰り返す周波数変調が施され、上昇区間 121 及び下降区間 122 でのビート信号から得られる複数の周波数成分の組み合わせの中から、無変調区間 122 のビート信号の周波数成分に基づいて、正しい組み合わせを選択している。以下、この

特開平 7-20233 号公報にかかる従来の技術について、詳しく述べる。

【0017】2 つの測定対象 7a、7b が存在する場合、図 20 に示された上昇区間 121、下降区間 122 における送信波によって得られるビート信号の周波数成分は、図 19 と同様、上昇区間 81 に基づく周波数成分  $f_{ua}$ 、 $f_{ub}$  と、下降区間 82 に基づく周波数成分  $f_{da}$ 、 $f_{db}$  からなる。そして、2 つの測定対象 7a、7b の距離  $R_a$ 、 $R_b$  は、前述したように  $\{f_{ua}, f_{da}\}$ 、 $\{f_{ua}, f_{db}\}$ 、 $\{f_{ub}, f_{da}\}$ 、 $\{f_{ub}, f_{db}\}$  の 4 つの組み合わせの中から正しい組み合わせを 2 つ選択して求めなければならない。

【0018】また、図 20 に示された無変調区間 123 における送信波によって得られるビート信号の周波数成分は、2 つの周波数成分  $f_{ca}$ 、 $f_{cb}$  からなる。2 つの測定対象 7a、7b のうち、走行速度の速い方を 7a、走行速度の速い方を 7b とする、つまり  $f_{ca} < f_{cb}$  とすると、それぞれの速度  $V_a$ 、 $V_b$  は、次式 (11)、(12) により求まる。

【数 5】

$$V_a = C_2 \cdot f_{ca} \quad (11)$$

$$V_b = C_2 \cdot f_{cb} \quad (12)$$

【0019】ここで、上昇区間 121、下降区間 122 及び無変調区間 123 において得られる周波数成分  $f_{ua}$ 、 $f_{ub}$ 、 $f_{da}$ 、 $f_{db}$ 、 $f_{ca}$ 、 $f_{cb}$  の間には、次式 (13)、(14) の関係が成り立つ。

【数 6】

$$f_{da} - f_{ua} = 2 \cdot f_{ca} \quad (13)$$

$$f_{db} - f_{ub} = 2 \cdot f_{cb} \quad (14)$$

【0020】すなわち、上昇区間 121 で得られるビート信号の周波数  $f_u$  と、下降区間 122 で得られるビート信号の周波数  $f_d$  と、無変調区間 123 で得られるビート信号の周波数  $f_c$  との間に、 $f_d - f_u = 2 \cdot f_c$  なる関係が成り立つ時、これら 3 つの周波数成分が単一の測定対象に属するものと判断できる。

【0021】従って、測定対象 7a に関するビート信号の周波数成分を  $\{f_{ua}, f_{da}\}$ 、測定対象 7b に関するビート信号の周波数成分を  $\{f_{ub}, f_{db}\}$  と決定することができる。測定対象が複数存在する場合でも、先の上昇区間と下降区間のみからなる送信波を利用するレーダ装置と比較して、正しい距離及び相対速度を求めることができる可能性が高くなる。

【0022】ところで、送信波と受信波をミキサ等によって検波する際に、ビート信号の実数部（以下同相成分と記す）のみの周波数成分を用いれば、レーダを構成するハードウェア要素を少なくすることができるため、小型化、低価格化に有利であり、各種レーダ装置において採用されている。しかしながら、このような構成とし

た場合、計測すべき周波数の絶対値を得ることはできるが、正負の符号を得ることができなくなってしまう。具体的には、全て非負の周波数範囲に折り返したものとになるので、式(1)、(2)は、次式(15)、(16)のように変形される。

【数7】

$$f_u = |f_r - f_p| \quad (15)$$

$$f_d = |f_r + f_p| \quad (16)$$

【0023】式(15)、(16)を $f_u$ と $f_d$ の符号に応じて場合分けすると、次のように表される。

【数8】

$f_r \geq f_p \geq 0$ の場合

$$f_u + f_d = 2f_r \quad (17)$$

$$f_u - f_d = -2f_p \quad (18)$$

$f_p > f_r \geq 0$ の場合

$$f_u + f_d = 2f_p \quad (19)$$

$$f_u - f_d = -2f_r \quad (20)$$

$0 > f_r \geq f_p$ の場合

$$f_u + f_d = -2f_p \quad (21)$$

$$f_u - f_d = 2f_r \quad (22)$$

$0 > f_p > f_r$ の場合

$$f_u + f_d = -2f_r \quad (23)$$

$$f_u - f_d = 2f_p \quad (24)$$

【0024】以上のように、ビート信号の実数部のみの周波数成分を用いると、組み合わせの種類(選択肢)が4倍になるため、これらの周波数成分の組み合わせの中から正しい組み合わせを選択することがさらに困難になるという問題があった。

【0025】特開平10-132925号公報には、このような課題を解決するためのレーダ信号処理方法が開示されている。このレーダ信号処理方法によれば、図20と同様にして、送信波の周波数を上昇区間121、無変調区間123、下降区間122に周波数変調するレーダ装置を用いて、 $f_u$ と $f_d$ の加減算処理を行うだけで測定対象の距離R、相対速度Vを求めることができる。以下、具体的にその内容を説明する。

【0026】無変調区間123では、ビート信号の周波数 $f_c$ が測定対象との相対速度Vによって決まるため、 $f_c$ は相対速度Vを用いて次式(25)のように表される。

【数9】

(5)

特開2003-329767

8

$$f_c = \left| \frac{2 \cdot f_0 \cdot V}{C} \right| = f_p \quad (25)$$

式(17)～(24)によれば $|f_u + f_d|$ 、 $|f_u - f_d|$ のどちらか一方が $f_p$ の2倍に一致しており、式(25)によれば $f_p = f_c$ であるから、これらのうち $2f_c$ に一致する方が $f_p$ の倍数であり、一致しない方が $f_r$ の倍数であると判定することができる。

10

【0027】図21は、離反、接近する各測定対象について、レーダ装置71の送受信波形と、そのビート信号の例を示した図であり、(a)には離反する測定対象の場合が示され、(b)には接近する測定対象の場合が示されている。図21から分かるように同相成分のみの検波では、

【数10】

ドップラー周波数成分 $f_c$ が正(離反対象)の場合

$$f_u < f_d \quad (26)$$

ドップラー周波数成分 $f_c$ が負(接近対象)の場合

$$f_u > f_d \quad (27)$$

20

となるため、 $f_u$ と $f_d$ を比較することでドップラー周波数成分 $f_c$ の符号が判別できる。

【0028】さらに、距離 $R > 0$ なので、距離による周波数成分 $f_r$ は、次式(27)となる。

【数11】

$$f_r > 0 \quad (28)$$

30

【0029】以上の説明により理解される通り、式(25)～(28)によって $f_r$ 、 $f_p$ の大小及び正負関係が得られ、式(7)～(10)、式(17)～(24)によって測定対象73の距離R、相対速度Vを求めることができる。

【0030】図22及び図23のステップ2201～2215は、上記公報に記載された従来のレーダ信号処理方法を示すフローチャート図であり、測定対象が複数存在する場合におけるレーダ信号処理方法が示されている。このフローチャートに従えば、測定対象が複数存在する場合でも、各測定対象との距離 $R_{mn}$ 及び相対速度 $V_{mn}$ を求めることができる。以下、図22及び図23の各ステップについて詳細に説明する。

40

【0031】ステップ2201：変調周波数の上昇区間121におけるビート信号の周波数スペクトルから1又は2以上の目標候補を検出し、それぞれの周波数を求める。例えば、受信強度を所定の閾値と比較して当該閾値以上となる周波数スペクトルのピークを検出し、これらの周波数 $f_u(i)$   $|i=1, 2, \dots, I|$ を求める。

【0032】ステップ2102：周波数の無変調区間123におけるビート信号の周波数スペクトルから1又は2以上の目標候補を検出し、それぞれの周波数を求め

50

る。例えば、受信強度を所定の閾値と比較して当該閾値以上となる周波数スペクトルのピークを検出し、これらの周波数  $f_c(k)$   $|k=1, 2, \dots, K|$  を求める。

【0033】ステップ2203：変調周波数の下降区間122におけるビート信号の周波数スペクトルから1又は2以上の目標候補を検出し、それぞれの周波数を求める。例えば、受信強度を所定の閾値と比較して当該閾値以上となる周波数スペクトルのピークを検出し、これらの周波数  $f_d(j)$   $|j=1, 2, \dots, J|$  を求める。

【0034】ステップ2204：ステップ2201及びステップ2203で検出された目標候補のスペクトルの周波数  $f_u(i)$   $|i=1, 2, \dots, I|$  と  $f_d(j)$   $|j=1, 2, \dots, J|$  の全ての組み合わせについて、次式(29)、(30)に従って、周波数  $f_{sum}(i, j)$  及び周波数差  $f_{dif}(i, j)$  を求める。  
【数12】

$$f_{sum}(i, j) = \frac{f_u(i) + f_d(j)}{2} \quad (29)$$

$$f_{dif}(i, j) = \frac{|f_u(i) - f_d(j)|}{2} \quad (30)$$

【0035】ステップ2205：ステップ2202で検出された各目標候補の周波数  $f_c(k)$   $|k=1, 2, \dots, K|$  を、ステップ2204で求められた  $f_{sum}(i, j)$  及び  $f_{dif}(i, j)$  と比較し、 $f_c(l) = f_{sum}(m, n)$  あるいは  $f_c(l) = f_{dif}(m, n)$  となる  $f_u(m)$  及び  $f_d(n)$  を正しい組み合わせとして選択する。

【0036】ステップ2206： $f_c(l)$  が  $f_{sum}(m, n)$  と等しいかどうかを判定し、等しければステップ2207へ進み、等しければステップ2211へ進む。

【0037】ステップ2207： $f_c(l) = f_{sum}(m, n)$  の場合、まず、距離周波数  $f_r(m, n)$  を  $f_{dif}(m, n)$  とする。

【0038】ステップ2208：次に、 $f_u(m)$  と  $f_d(n)$  の大きさを比較し、 $f_u(m) \geq f_d(n)$  であればステップ2209へ進み、 $f_u(m) < f_d(n)$  であればステップ2210へ進む。

【0039】ステップ2209：速度周波数  $f_p(m, n)$  を  $f_{sum}(m, n)$  としてステップ2215へ進む。

【0040】ステップ2210：速度周波数  $f_p(m, n)$  を  $-f_{sum}(m, n)$  としてステップ2215へ進む。

【0041】ステップ2211：一方、 $f_c(l) \neq f_{sum}(m, n)$  の場合、まず、距離周波数  $f_r(m, n)$  を  $f_{sum}(m, n)$  とする。

【0042】ステップ2212：次に、 $f_u(m)$  と  $f$

$d(n)$  の大きさを比較し、 $f_u(m) \geq f_d(n)$  であればステップ2213へ進み、 $f_u(m) < f_d(n)$  であればステップ2214へ進む。

【0043】ステップ2213：速度周波数  $f_p(m, n)$  を  $f_{dif}(m, n)$  としてステップ2215へ進む。

【0044】ステップ2214：速度周波数  $f_p(m, n)$  を  $-f_{dif}(m, n)$  としてステップ2215へ進む。

【0045】ステップ2215：求められた  $f_r(m, n)$ 、 $f_p(m, n)$  に基づいて、式(3)、(4)から相対距離  $R_{mn}$  と相対速度  $V_{mn}$  を求める。

【0046】

【発明が解決しようとする課題】上述した通り、送信波として周波数の上昇区間81及び下降区間82からなる周波数変調波を用いるレーダ装置の場合、測定対象が複数存在する場合に、各々の測定対象との距離及び相対速度を決定することが困難であるという問題があった。

【0047】この様な問題を解決するため、上記公報(特開平7-20233号、特開平10-132925号)に記載の従来のレーダ装置では、送信波として周波数の上昇区間121、下降区間122及び無変調区間123からなる周波数変調波を用いることにより、複数ある各測定対象との距離  $R$  及び相対速度  $V$  を求めている。

【0048】しかしながら、この様なレーダ装置の場合、上昇区間121及び下降区間122に加え、無変調区間123についても周波数スペクトル解析を行う必要があるため、無変調区間についての演算時間の分だけ、走査中の一方向当たりの測距周期(距離及び相対速度を取得する周期)が長くなってしまいう問題があった。

【0049】また、上昇区間121、下降区間122及び無変調区間123の各送信波を送信する時の走査方向が異なると、測定対象の整合性が取りにくくなるため、送信波を送信してから受信波を受信するまでの間、送受信方向が同一となるように、走査することを止めるか、あるいは走査の速度を下げるのが望ましい。しかしながら、走査することを止めることができる走査の機構系は一般的に複雑かつ高価になってしまうという問題があった。また、走査速度を下げると走査範囲が狭くなるか所定の走査範囲を走査するための走査周期が長くなってしまいう問題があった。

【0050】さらに、測距周期  $1/f_m$  を所定時間以下に抑えるために、図20における送受時間126を図16における送受時間86と等しくしようとする場合、図20に示した送信波の中に無変調区間123の分だけ、上昇区間121、下降区間122の時間が上昇区間81、下降区間82の時間に比べて短くなり、FFT(First Fourier Transfer)処理部におけるサンプリング数が少なくなると、距離及び相対速度の測定精度を悪化さ

せてしまうという問題があった。

【0051】本発明は、上記の事情に鑑みてなされたものであり、測定対象が2以上存在する場合でも各測定対象の距離又は相対速度を測定することができるとともに、走査中の一方向当たりの測距周期の短いレーダ装置を提供することを目的とする。

【0052】また、本発明は、測定精度の低下、測距周期の増加、機構系の複雑化、高価格化、あるいは走査範囲の狭域化を招くことなく、測定対象が2以上存在する場合でも各測定対象の距離又は相対速度を測定することができるレーダ装置を提供することを目的とする。

【0053】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の本発明によるレーダ装置は、周波数が時間軸上で増大する周波数上昇区間、周波数が時間軸上で減少する周波数下降区間及び周波数が時間軸上で一定となる周波数無変調区間からなる送信波を生成する周波数変調手段と、生成された送信波を送出するとともに、測定対象による反射波を受信する送受信手段と、送受信手段の送受信方向を所定の走査範囲において繰り返し走査させる走査手段と、送信波及び受信波に基づいて測定対象との距離又は相対速度を求める信号処理手段とを備えたレーダ装置であって、周波数変調手段が、周波数上昇区間、周波数下降区間及び周波数無変調区間のいずれか2つの区間を交互に繰り返す第1の送信波と、残る1つの区間を繰り返す第2の送信波とを生成し、第1の送信波及び第2の送信波が走査周期に同期して切り替えられるように構成される。

【0054】請求項2に記載の本発明によるレーダ装置は、第1の送信波及び第2の送信波が、走査周期ごとに交互に送出されるように構成される。

【0055】請求項3に記載の本発明によるレーダ装置は、上記第1の送信波が、周波数上昇区間及び周波数下降区間からなり、上記第2の送信波が周波数無変調区間からなる。

【0056】請求項4に記載の本発明によるレーダ装置は、周波数変調手段が、周波数上昇区間、周波数下降区間及び周波数無変調区間のいずれか2つの区間を交互に繰り返す第1の送信波と、残る1つの区間及び第1の送信波を構成するいずれか1つの区間を交互に繰り返す第2の送信波とを生成し、第1の送信波及び第2の送信波が走査周期に同期して切り替えられるように構成される。

【0057】請求項5に記載の本発明によるレーダ装置は、第1の送信波及び第2の送信波が、走査周期ごとに交互に送出されるように構成される。

【0058】請求項6に記載の本発明によるレーダ装置は、上記第1の送信波が、周波数上昇区間及び周波数下降区間からなり、上記第2の送信波が周波数上昇区間及び周波数無変調区間からなる。

【0059】請求項7に記載の本発明によるレーダ装置は、上記第1の送信波が、周波数上昇区間及び周波数下降区間からなり、上記第2の送信波が周波数下降区間及び周波数無変調区間からなる。

【0060】請求項8に記載の本発明によるレーダ装置は、上記第1の送信波が、周波数上昇区間及び周波数無変調区間からなり、上記第2の送信波が周波数下降区間及び周波数無変調区間からなる。

【0061】請求項9に記載の本発明によるレーダ装置は、送信波を生成する周波数変調手段と、生成された送信波を送出するとともに、測定対象による反射波を受信する送受信手段と、送受信手段の送受信方向を所定の走査範囲において繰り返し走査させる走査手段と、送信波及び受信波によるビート信号を生成するビート信号生成手段と、このビート信号に基づいて測定対象との距離又は相対速度を求める信号処理手段とを備えたレーダ装置であって、周波数変調手段が、周波数が時間軸上で増大する周波数上昇区間、周波数が時間軸上で減少する周波数下降区間及び周波数が時間軸上で一定となる周波数無変調区間のうち2以下の区間を繰り返す第1の送信波と、残りの全ての区間を含む2以下の区間を繰り返す第2の送信波とを生成し、第1の送信波及び第2の送信波が走査周期に同期して切り替えられるように構成される。

【0062】請求項10に記載の本発明によるレーダ装置は、第1の送信波及び第2の送信波が、走査周期ごとに交互に送出されるように構成される。

【0063】請求項11に記載の本発明によるレーダ装置は、上記信号処理手段が、走査範囲に含まれる複数の走査方向のそれぞれについて、周波数上昇区間、周波数下降区間及び周波数無変調区間の各ビート周波数から測定対象との距離又は相対速度を求めるように構成される。

【0064】請求項12に記載の本発明によるレーダ装置は、上記信号処理手段が、周波数上昇区間のビート周波数及び周波数下降区間のビート周波数の各組み合わせについて、周波数之和及び周波数差の絶対値を求めるステップと、周波数之和又は周波数差の絶対値が周波数無変調区間のビート周波数と等しくなる周波数上昇区間のビート周波数及び周波数下降区間のビート周波数の組み合わせを選択するステップと、周波数之和に基づいて測定目標までの距離を求めるステップと、周波数差に基づいて測定目標との相対速度を求めるステップからなる処理を各走査方向ごとに実行するように構成される。

【0065】請求項13に記載の本発明によるレーダ装置は、上記ビート信号生成手段が、送信波及び受信波から得られるビート信号の実数部の周波数成分を求め、信号処理手段が、求められたビート周波数に基づいて、測定対象との距離又は相対速度を求めるように構成される。

【0066】請求項14に記載の本発明によるレーダ装置は、上記信号処理手段が、周波数上昇区間のビート周波数及び周波数下降区間のビート周波数の各組合わせについて、周波数及び周波数差の絶対値を求めるステップと、周波数及び周波数差の絶対値が周波数無変調区間のビート周波数と等しくなる周波数上昇区間のビート周波数及び周波数下降区間のビート周波数の組合わせを選択するステップと、周波数及び周波数差の絶対値のうち周波数無変調区間のビート周波数と異なる値に基づいて、測定目標までの距離を求めるステップと、周波数及び周波数差の絶対値のうち周波数無変調区間のビート周波数と等しくなる値に基づいて、測定目標との相対速度を求めるステップからなる処理を各走査方向ごとに実行するように構成される。

#### 【0067】

【発明の実施の形態】実施の形態1. 図1は、本発明の実施の形態1によるレーダ装置の一構成例を示したブロック図である。図中の1はレーダ装置、10は信号処理装置、11は発振器、12はパワーデバイダ、13は送信アンプ、14はサーキュレータ、15aはホーンアンテナ、15bはアンテナ反射鏡、16は受信アンプ、17はミキサー、18はフィルタ、19はアンプ、20はA/D変換器、21はアンテナ走査用モータである。

【0068】ホーンアンテナ15aは、送受信共用のアンテナであり、アンテナ反射鏡15bは、ホーンアンテナ15aの送受信波を反射して、ホーンアンテナ15aに指向性を持たせている。つまり、ホーンアンテナ15a及びアンテナ反射鏡15bにより指向性アンテナを構成している。アンテナ走査用モータ21は、アンテナ反射鏡15bを回転駆動させるための駆動装置であり、信号処理装置10から出力される走査方向に応じた制御信号に基づいて、アンテナ角度（例えば水平面内におけるアンテナの方位）を制御し、送受信方向を制御している。

【0069】発振器11は、信号処理装置10からの制御信号に基づいて、周波数変調が施された送信信号を発生させる。発振器11で生成された送信信号は、パワーデバイダ12において2つに分岐され、その一方はミキサー17に入力され、他方は送信アンプ13で増幅された後、サーキュレータ14を経由してホーン15aから放射される。

【0070】ホーンアンテナ15aから出力された電波は、アンテナ反射鏡15bで反射され、所定の送信方向へ向けて空間に放射される。空間へ出射された電波は測定対象（不図示）で乱反射され、その反射波の一部が、再びアンテナ反射鏡15bにより反射され、ホーンアンテナ15aに入射され受信される。

【0071】この受信信号は、サーキュレータ14を経由して受信アンプ16で増幅された後、ミキサー17により上記送信信号とミキシングされる。受信信号は、送

信信号に対して遅延時間 $\Delta t$ を持ってホーンアンテナ15aに入射され、また、測定対象がレーダ装置に対して相対速度を持つ場合、送信信号に対してドップラーシフト $f_b$ を持ってホーンアンテナ15aに入力される。

【0072】このため、ミキサー17において、遅延時間 $\Delta t$ とドップラーシフト $f_b$ に対応したビート周波数信号が生成される。なお、実施の形態1及び2では、ミキサー17で求められるビート信号の周波数には符号が付されているものとする。

10 【0073】生成されたビート周波数信号は、フィルタ18を通過し、アンプ19により増幅されてA/D変換器20、さらには信号処理装置10に入力される。信号処理装置10では、ビート周波数信号の周波数スペクトル解析を行い、この解析結果に基づいて、測定対象までの距離、相対速度が求められる。

20 【0074】このレーダ装置は、アンテナ走査用モータ21がアンテナ反射鏡15bを駆動することにより、レーダ装置の送受信方向を所定の走査範囲において繰り返し走査させている。走査範囲は、更に複数の走査方向からなり、レーダ装置1は、各走査方向について、以上の動作を繰り返し行っている。

30 【0075】図2は、図1のレーダ装置1の送受信波形の一例を示した図であり、縦軸に周波数、横軸に時間を取り、送信波（実線）及び受信波（破線）の波形が示されている。（a）には、図16と同様、周波数を時間軸上で線形に増大させる上昇区間31と、時間軸上で線形に減少させる下降区間32とを繰返周期 $1/f_m$ で交互に繰り返す三角波の周波数変調が施された送受信信号が示されている。一方、（b）には、周波数が時間的に変化しない周波数無変調信号が示されている。つまり、周波数無変調区間33のみからなる。発振器11は、信号処理装置10の指示に基づいて、2種類の送信信号、すなわち図6の（a）又は（b）のいずれかの送信信号を生成している。

【0076】図3は、図1のレーダ装置1の走査方向の一例を示した図である。アンテナ走査用モータ21により駆動されるアンテナ反射鏡15bは、ホーンアンテナ15aを各走査方向40～44に変化させ、走査範囲40～44を所定の走査周期で走査している。

40 【0077】図4は発振器11により生成される送信波の切替タイミングの一例を示した図である。図2に示した2種類の送信波を生成する発振器11は、同一の走査周期内においては同一の送信波を生成し、走査周期に同期して送信波を切り替えている。図4では、走査周期ごとに送信波を切り替える例が示されている。すなわち、 $2n$ 回目（ $n=0, 1, 2, \dots$ ）の走査周期では、図3の各走査方向40～44に対して、図2（a）に示された上昇区間31及び下降区間32からなる周波数変調信号が送信される。また、 $(2n+1)$ 回目の走査周期では、図3の各走査方向40～44に対して、図2（b）



に示された周波数無変調信号が送信される。

【0078】図5のステップ501～506は、本発明の実施の形態1によるレーダ信号処理方法の一例を示したフローチャートであり、図6～図8は、それぞれ図5のステップ504～506の詳細を示したフローチャートである。これらのフローチャートに従えば、一方向当たりの測定周期を長くすることなく、測定対象が複数存在する場合でも、各測定対象との距離 $R_{mn}$ 及び相対速度 $V_{mn}$ を求めることができる。以下、図5のフローチャートの各ステップについて詳細に説明する。

【0079】ステップ501：信号処理装置10は、何番目の走査周期であるのかを認識するためのカウンタScanCntを備え、この走査周期を示すカウンタScanCntをインクリメントして、走査周期ごとの処理を開始する。

【0080】ステップ502：信号処理装置10は、同一の走査周期中の何番目の走査方向40～44であるのかを認識するためのカウンタDCntを備え、このカウンタDCntをリセットする。このため、その値はゼロとなり、まず最初の走査方向40を対象として以下の処理が行われる。

【0081】ステップ503：カウンタScanCntが偶数の時はステップ504に進み、奇数の時は、ステップ505に進む。つまり、ステップ504及びステップ505は、走査周期ごとに交互に実行される。

【0082】ステップ504：図2(a)に示した上昇・下降変調信号からなる送信波を走査しながら、各走査方向40～44について、上昇区間におけるビート信号のピーク周波数 $f_u$ と、下降区間におけるビート信号のピーク周波数 $f_d$ が求められた後、ステップ506に進む。

【0083】ステップ505：図2(b)に示した無変調信号からなる送信波を走査しながら、各走査方向40～44について、ビート信号のピーク周波数 $f_c$ が求められた後、ステップ506に進む。

【0084】ステップ506：ステップ504及びステップ505において求められた $f_u$ 、 $f_d$ 及び $f_c$ に基づいて信号処理装置10による演算処理が行われ、各走査方向40～44について、1又は2以上の測定対象との距離 $R$ 及び相対速度 $V$ が求められる。その後、再びステップ501に戻る。

【0085】図6のステップ601～606は、図5のステップ504（上昇・下降変調信号による走査）の詳細を示したフローチャートであり、上昇・下降変調信号を用いて、各走査方向ごとに上昇区間と下降区間のそれぞれにおけるビート信号のピーク周波数 $f_u$ 、 $f_d$ を求めるための処理方法が示されている。以下、図6のフローチャートの各ステップについて詳細に説明する。

【0086】ステップ601：カウンタDCntの値に基づき、アンテナ走査用モータ21がアンテナ反射鏡15bを回転駆動させ、ホーンアンテナ15aによる送受信方

向を変化させる。

【0087】ステップ602：発振器11は、信号処理装置10の指令に基づいて、図2(a)に示した変調周波数の上昇区間31及び周波数下降区間32からなる送信波を生成し、この送信波がホーンアンテナ15aから出力される。

【0088】ステップ603：1つの走査方向に関して、変調周波数の上昇区間31におけるビート信号の周波数スペクトルから1又は2以上の目標候補を検出し、それぞれの周波数を求める。例えば、受信強度を所定の閾値と比較して当該閾値以上となる周波数スペクトルのピークを $I$ 個（ $I$ は1又は2以上）検出し、これらの周波数 $f_u(i, DCnt)$ （ $i=1, 2, 3, \dots, I$ ）を求める。

【0089】ステップ604：1つの走査方向に関して、変調周波数の下降区間32におけるビート信号の周波数スペクトルから1又は2以上の目標候補を検出し、それぞれの周波数を求める。例えば、受信強度を所定の閾値と比較して当該閾値以上となる周波数スペクトルのピークを $J$ 個（ $J$ は1又は2以上）検出し、これらの周波数 $f_d(j, DCnt)$ （ $j=1, 2, 3, \dots, J$ ）を求める。

【0090】ステップ605：走査方向を示すカウンタDCntをインクリメントして、次の走査方向41、42、…が処理の対象とされる。

【0091】ステップ606：カウンタDCntが5未満であればステップ601に戻り、新たな走査方向について同様の動作（ステップ601～605）を繰り返す。カウンタDCntが5以上であれば、全ての走査方向40～44について走査が完了しているため、当該処理を終了して図5のステップ506に進む。

【0092】図7のステップ701～705は、図5のステップ505（無変調信号による走査）の詳細を示したフローチャートであり、無変調信号を用いて、各走査方向ごとにビート信号のピーク周波数 $f_c$ を求めるための処理方法が示されている。以下、図7のフローチャートの各ステップについて詳細に説明する。

【0093】ステップ701：カウンタDCntの値に基づき、アンテナ走査用モータ21がアンテナ反射鏡15bを回転駆動させ、ホーンアンテナ15aによる送受信方向を変化させる。

【0094】ステップ702：発振器11は、信号処理装置10の指令に基づいて、図2(b)に示した周波数を無変調とした送信波を生成し、この送信波がホーンアンテナ15aから出力される。

【0095】ステップ703：1つの走査方向に関して、無変調周波数のビート信号の周波数スペクトルから1又は2以上の目標候補を検出し、それぞれの周波数を求める。例えば、受信強度を所定の閾値と比較して当該閾値以上となる周波数スペクトルの1又は2以上のピー

クをK個（Kは1又は2以上）検出し、これらの周波数  $f_c(k, DCnt)$   $\{k=1, 2, 3, \dots, K\}$  を求める。

【0096】ステップ704：走査方向を示すカウンタDCntをインクリメントして、次の走査方向41、42、…が処理の対象とされる。

【0097】ステップ705：カウンタDCntが5未満であればステップ701に戻り、新たな走査方向について同様の動作（ステップ701～704）を繰り返す。カウンタDCntが5以上であれば全ての走査方向40～44 10 について走査が完了しているため、当該処理を終了して図5のステップ506に進む。

【0098】図8のステップ801～810は、図5のステップ506（演算処理）の詳細を示したフローチャートであり、2以上の測定対象までの距離及び相対速度\*

$$f_{sum}(i, j) = \frac{f_u(i, DCnt) + f_d(j, DCnt)}{2} \quad (31)$$

$$f_{dif}(i, j) = \frac{|f_u(i, DCnt) - f_d(j, DCnt)|}{2} \quad (32)$$

【0101】ステップ803：図7のステップ703で検出された目標候補の周波数  $f_c(k, DCnt)$   $\{k=1, 2, \dots, K\}$  と、ステップ802で求められた  $f_{sum}(i, j)$  および  $f_{dif}(i, j)$  を比較して、※

$$f_c(l) = f_{sum}(m, n) \quad (33)$$

$$f_c(l) = f_{dif}(m, n) \quad (34)$$

$$\{l=1, 2, \dots, K : m=1, 2, \dots, I : n=1, 2, \dots, J\}$$

【0102】ステップ804：距離周波数  $f_r(m, n)$  を周波数和  $f_{sum}(m, n)$  とする。

【0103】ステップ805： $f_u(m)$  と  $f_d(n)$  の大きさを比較し、 $f_u(m) \geq f_d(n)$  であればステップ806へ、 $f_u(m) < f_d(n)$  であればステップ807へ進む。

【0104】ステップ806：速度周波数  $f_p(m, n)$  を周波数差  $f_{dif}(m, n)$  として、ステップ808へ進む。

★

$$R_{mn} = \frac{C \cdot f_m \cdot \Delta f}{4} f_r(m, n) \quad (35)$$

$$V_{mn} = \frac{C \cdot f_0}{2} f_p(m, n) \quad (36)$$

【0107】ステップ809：走査方向を示すカウンタDCntをインクリメントして、次の走査方向41、42、…が処理の対象とされる。

【0108】ステップ810：カウンタDCntが5未満であればステップ802に戻り、新たな走査方向について同様の動作（ステップ802～809）を繰り返す。カ 50

\*を各走査方向ごとに求めるための処理方法が示されている。以下、図8のフローチャートの各ステップについて詳細に説明する。

【0099】ステップ801：走査方向を示すカウンタDCntをリセットして、その値がゼロとなり、まず最初の走査方向40について以下の演算が行われる。

【0100】ステップ802：図6のステップ603及びステップ604で検出された目標候補のスペクトルの周波数  $f_u(i, DCnt)$   $\{i=1, 2, \dots, I\}$  と  $f_d(j, DCnt)$   $\{j=1, 2, \dots, J\}$  について、全ての  $i, j$  の組み合わせについて、周波数和  $f_{sum}(i, j)$  と周波数差  $f_{dif}(i, j)$  を次式(31)、(32)により求める。

【数13】

※次式(33)又は(34)を満足する  $f_c(l)$ 、 $f_u(m)$ 、 $f_d(n)$  の1又は2以上の組み合わせを正しい組み合わせとして選択する。

【数14】

★【0105】ステップ807：速度周波数  $f_p(m, n)$  を  $-f_{dif}(m, n)$  として、ステップ808へ進む。

【0106】ステップ808：ステップ806およびステップ807で求められた  $f_r(m, n)$  および  $f_p(m, n)$  から、次式(35)、(36)により距離  $R_{mn}$  及び相対速度  $V_{mn}$  が求められる。

【数15】

カウンタDCntが5以上であれば全ての走査方向40～44について走査が完了しているため、当該処理を終了して図5のステップ501に戻る。

【0109】本実施の形態によるレーダ装置では、変調周波数の上昇区間及び下降区間から構成され無変調区間を有しない図2(a)の送信波と、無変調区間のみで構

成される図 2 (b) の送信波とを各走査周期ごとに切り替えて送信している。そして、走査周期の単位で時間的に前後して得られる、図 2 (a) の送信波に基づくビート信号の周波数成分  $f_u$ 、 $f_d$  と、図 2 (b) の送信波に基づくビート信号の周波数成分  $f_c$  を用いて、測定対象の距離及び相対速度を算出している。

【0110】すなわち、従来のレーダ装置のように、変調周波数の上昇区間及び下降区間とともに無変調区間を有する図 20 に示したような送信波を用いることなく、従来の装置と同様にして、上昇区間、下降区間及び無変調区間におけるビート周波数を用いて測定対象との距離及び相対速度を求めている。

【0111】これにより、測定対象が 2 以上存在する場合でも、周波数成分の誤組み合わせを防止して正しく測定することができるとともに、測定精度の低下、測距周期の増加、機構系の複雑化あるいは高価格化、走査範囲の狭域化などの問題を引き起こすことがない。従って、2 以上の測定対象が存在する場合でも、各測定対象までの距離及び相対速度を精度よく求めることができる。

【0112】なお、本実施の形態では、上昇区間及び下降区間からなる送信波信号と、無変調区間のみからなる送信波信号とを走査周期ごとに切り替えて送信する場合について説明したが、本発明はこのような送信波信号の場合に限定されない。つまり、上昇区間、下降区間、無変調区間の 3 区間を任意に組み合わせる 2 種類の送信波信号を生成し、走査周期に同期して切り替えて送信すれば、同様の効果を奏することができるため、3 区間の組み合わせは他の組み合わせであってもよい。具体的には、上昇区間及び無変調区間からなる送信波信号と、下降区間のみからなる送信波信号とを用いてもよいし、無変調区間及び下降区間からなる送信波信号と、上昇区間のみからなる送信波信号とを用いてもよい。

【0113】実施の形態 2。本実施の形態における構成及び動作は、実施の形態 1 の場合と基本的には同じであるが、発振器 11 によって生成される 2 種類の送信波が異なる。また、これに伴って信号処理装置 10 における処理内容が異なる。

【0114】図 9 は、図 1 のレーダ装置 1 の送受信波形の他の例を示した図であり、縦軸に周波数、横軸に時間を取り、送信波（実線）及び受信波（破線）の波形が示されている。図 9 (a) には、図 2 (a) と同様、周波数を時間軸上で線形に増大させる上昇区間 31 と、時間軸上で線形に減少させる下降区間 32 とを交互に繰り返す三角波の周波数変調が施された送受信信号が示されている。一方、図 9 (b) には、周波数を時間軸上で線形に増大させる上昇区間 34 と、周波数が時間的に変化しない無変調区間 33 が示されている。発振器 11 は、信号処理装置 10 の指示に基づいて、2 種類の送信信号、すなわち図 9 の (a) 又は (b) のいずれかの送信信号を生成している。

【0115】図 10 は発振器 11 により生成される送信波の切替タイミングの一例を示した図である。図 9 に示した 2 種類の送信波を生成する発振器 11 は、同一の走査周期内においては同一の送信波を生成し、走査周期に同期して送信波を切り替えている。図 10 では、走査周期ごとに送信波が切り替えられている。すなわち、 $2n$  回目 ( $n=0, 1, 2, \dots$ ) の走査周期では、各走査方向 40~44 に対して、図 9 (a) に示された上昇区間及び下降区間からなる周波数変調信号が送信される。また、 $(2n+1)$  回目の走査周期では、各走査方向 40~44 に対して、図 9 (b) に示された上昇区間及び無変調区間からなる周波数変調信号が送信される。

【0116】図 11 のステップ 1101~1106 は、本発明の実施の形態 2 によるレーダ信号処理方法の一例を示したフローチャートであり、図 12 は、図 11 のステップ 1105（無変調信号による走査）の詳細を示したフローチャートである。図 11 のフローチャートを図 5 の場合と比較すれば、ステップ 1105 のみが異なり、他のステップ 1101~1104 及び 1106 は図 5 の対応するステップと同じである。以下、図 11 のフローチャートの各ステップについて詳細に説明する。

【0117】ステップ 1101：信号処理装置 10 は、何番目の走査周期であるのかを認識するためのカウンタ ScanCnt を備え、この走査周期を示すカウンタ ScanCnt をインクリメントして、走査周期ごとの処理を開始する。

【0118】ステップ 1102：信号処理装置 10 は、同一の走査周期中の何番目の走査方向 40~44 であるのかを認識するためのカウンタ DCnt を備え、このカウンタ DCnt をリセットする。このため、その値はゼロとなり、まず最初の走査方向 40 を対象として以下の処理が行われる。

【0119】ステップ 1103：カウンタ ScanCnt が偶数の時はステップ 1104 に進み、奇数の時は、ステップ 1105 に進む。つまり、ステップ 1104 及びステップ 1105 は、走査周期ごとに交互に実行される。

【0120】ステップ 1104：図 9 (a) に示した上昇・下降変調信号からなる送信波を走査しながら、各走査方向 40~44 について、上昇区間 31 におけるビート信号のピーク周波数  $f_u$  と、下降区間 32 におけるビート信号のピーク周波数  $f_d$  が求められた後、ステップ 1106 に進む。

【0121】ステップ 1105：図 9 (b) に示した上昇・無変調信号からなる送信波を走査しながら、各走査方向 40~44 について、上昇区間 34 におけるビート信号のピーク周波数  $f_u$  と、無変調区間 33 におけるビート信号の周波数  $f_c$  が求められた後、ステップ 1106 に進む。

【0122】ステップ 1106：ステップ 1104 及びステップ 1105 において求められた  $f_u$ 、 $f_d$  及び  $f_c$  に基づいて信号処理装置 10 による演算処理が行わ

れ、各走査方向 40～44 について、1 又は 2 以上の測定対象との距離  $R$  及び相対速度  $V$  が求められる。このとき、上昇区間における周波数  $f_u$  は、ステップ 1104 及び 1105 で求められた値の中から、より新しい方の値が用いられる。その後、再びステップ 1101 に戻る。

【0123】図 12 は、図 11 のステップ 1105（上昇・無変調信号による走査）の詳細を示したフローチャートであり、上昇・無変調信号を用いて、各走査方向ごとに上昇区間 34 と無変調区間 33 のそれぞれにおけるビート信号のピーク周波数  $f_u$ 、 $f_c$  を求めるための処理方法が示されている。図 12 のフローチャートを図 7 の場合と比較すれば、ステップ 1203 のみが異なり、他のステップ 1201、1202 及び 1204～1206 は図 7 の対応するステップと同じである。以下、図 12 のフローチャートの各ステップについて詳細に説明する。

【0124】ステップ 1201：カウンタ  $DCnt$  の値に基づき、アンテナ走査用モータ 21 がアンテナ反射鏡 15b を回転駆動させ、ホーンアンテナ 15a による送受信方向を変化させる。

【0125】ステップ 1202：発振器 11 は、信号処理装置 10 の指令に基づいて、図 9（b）に示した変調周波数の上昇区間 34 及び周波数無変調区間 33 からなる送信波を生成し、この送信波がホーンアンテナ 15a から出力される。

【0126】ステップ 1203：1 つの走査方向に関して、変調周波数の上昇区間 34 におけるビート信号の周波数スペクトルから 1 又は 2 以上の目標候補を検出し、それぞれの周波数を求める。例えば、受信強度を所定の閾値と比較して当該閾値以上となる周波数スペクトルのピークを  $I$  個（ $I$  は 1 又は 2 以上）検出し、これらの周波数  $f_u(i, DCnt)$   $\{i=1, 2, 3, \dots, I\}$  を求める。

【0127】このとき、図 11 のステップ 1104 において求められた上昇区間の周波数  $f_u(i, DCnt)$   $\{i=1, 2, 3, \dots, I\}$  に上書きすることにより、 $f_u$  を新たなデータに置き換えている。全く同様にして、図 11 のステップ 1104 が実行される場合には、ステップ 1203 で求められた  $f_u$  に上書きし、新たなデータへの置き換えが行われる。

【0128】ステップ 1204：1 つの走査方向に関して、周波数の無変調区間 33 におけるビート信号の周波数スペクトルから 1 又は 2 以上の目標候補を検出し、それぞれの周波数を求める。例えば、受信強度を所定の閾値と比較して当該閾値以上となる周波数スペクトルのピークを  $K$  個（ $K$  は 1 又は 2 以上）検出し、これらの周波数  $f_c(k, DCnt)$   $\{k=1, 2, 3, \dots, K\}$  を求める。

【0129】ステップ 1205：走査方向を示すカウン

タ  $DCnt$  をインクリメントして、次の走査方向 41、42、…が処理の対象とされる。

【0130】ステップ 1206：カウンタ  $DCnt$  が 5 未満であればステップ 1201 に戻り、新たな走査方向について同様の動作（ステップ 1201～1205）を繰り返す。カウンタ  $DCnt$  が 5 以上であれば、全ての走査方向 40～44 について走査が完了しているため、当該処理を終了して図 11 のステップ 1106 に進む。

【0131】本実施の形態によるレーダ装置では、変調周波数の上昇区間及び下降区間から構成される図 9

(a) の送信波と、上昇区間及び無変調区間で構成される図 9（b）の送信波とを走査周期に同期して切り替えて送信している。このため、各走査周期ごとに上昇区間におけるビート信号の周波数成分を得ることができる。つまり、走査周期の単位で時間的に前後して得られる下降区間及び無変調区間でのビート信号の周波数成分と、全ての走査周期で得られる上昇区間でのビート信号の周波数成分とを用いて、測定対象の距離及び相対速度を算出している。

【0132】従って、実施の形態 1 と同様の効果を奏することができるのは勿論であるが、更に、実施の形態 1 の場合と比較して、測定対象の距離及び相対速度を検出するリアルタイム性を向上させることができるという効果も奏する。

【0133】なお、本実施の形態では、無変調信号による走査周期において変調周波数上昇区間を加える場合の例について説明したが、周波数上昇区間の代わりに変調周波数下降区間を加えてもよい。この場合、各走査周期ごとに周波数下降区間におけるビート信号の周波数成分を得ることができるため、同様の効果が得られる。

【0134】さらに、2 種類の送信波の一方を周波数上昇区間及び周波数無変調区間の繰返信号として構成し、他方を周波数下降区間及び周波数無変調区間の繰返信号として構成してもよい。この場合、各走査周期ごとに無変調区間におけるビート信号の周波数成分を得ることができるため、同様の効果が得られる。

【0135】すなわち、周波数の上昇区間、下降区間および無変調区間のうち、異なるいずれか 2 区間を組み合わせた送信波として 2 種類生成し、これらの送信波のいずれかに 3 区間全てが含まれていれば、2 種類の送信波の両方に含まれる区間については、各走査周期ごとにその区間のビート信号の周波数成分を得ることができ、リアルタイム性を向上させることができる。

【0136】実施の形態 3。本実施の形態における構成及び動作は、実施の形態 1 の場合と基本的には同じであるが、送信波と受信波をミキサー 17 によって検波する際、ビート信号の同相成分のみを用いる点で異なる。また、これに伴って信号処理装置 10 における処理内容が異なる。

【0137】図 13 のステップ 1301～1306 は、

本発明の実施の形態 3 によるレーダ信号処理方法の一例を示したフローチャートであり、図 14 は、図 13 のステップ 1306 (演算処理) の詳細を示したフローチャートである。図 13 のフローチャートを図 5 の場合と比較すれば、ステップ 1306 のみが異なり、他のステップ 1301 ~ 1305 は図 5 の対応するステップと同じである。以下、図 13 のフローチャートの各ステップについて詳細に説明する。

【0138】ステップ 1301: 信号処理装置 10 は、何番目の走査周期であるのかを認識するためのカウンタ ScanCnt を備え、この走査周期を示すカウンタ ScanCnt をインクリメントして、走査周期ごとの処理を開始する。

【0139】ステップ 1302: 信号処理装置 10 は、同一の走査周期中の何番目の走査方向 40 ~ 44 であるのかを認識するためのカウンタ DCnt を備え、このカウンタ DCnt をリセットする。このため、その値はゼロとなり、まず最初の走査方向 40 を対象として以下の処理が行われる。

【0140】ステップ 1303: カウンタ ScanCnt が偶数の時はステップ 1304 に進み、奇数の時は、ステップ 1305 に進む。つまり、ステップ 1304 及びステップ 1305 は、走査周期ごとに交互に実行される。

【0141】ステップ 1304: 図 2 (a) に示した上昇・下降変調信号からなる送信波を走査しながら、各走査方向 40 ~ 44 について、上昇区間におけるビート信号のピーク周波数  $f_u$  と、下降区間におけるビート信号のピーク周波数  $f_d$  が求められる。このとき、ピーク周波数  $f_u$ 、 $f_d$  として周波数の絶対値のみが求められる。その後、ステップ 1306 に進む。

【0142】ステップ 1305: 図 2 (b) に示した無変調信号からなる送信波を走査しながら、各走査方向 4 \*

$$f_{sum}(i, j) = \frac{f_u(i, DCnt) + f_d(j, DCnt)}{2} \quad (37)$$

$$f_{dif}(i, j) = \frac{|f_u(i, DCnt) - f_d(j, DCnt)|}{2} \quad (38)$$

【0147】ステップ 1403: 図 13 のステップ 1305 で検出された目標候補の周波数  $f_c(k, DCnt)$  ( $k=1, 2, \dots, K$ ) と、ステップ 1402 で求められた  $f_{sum}(i, j)$  および  $f_{dif}(i, j)$  を比※

$$f_c(l) = f_{sum}(m, n) \quad (39)$$

$$f_c(l) = f_{dif}(m, n) \quad (40)$$

$$\{l=1, 2, \dots, K : m=1, 2, \dots, I : n=1, 2, \dots, J\}$$

【0148】ステップ 1404:  $f_c(l)$  が  $f_{sum}(m, n)$  と等しいかどうかを判定し、等しければステップ 1405 へ進み、等しくなければステップ 1409 へ進む。

\* 0 ~ 44 について、ビート信号のピーク周波数  $f_c$  が求められる。このとき、ピーク周波数  $f_c$  として周波数の絶対値のみが求められる。その後、ステップ 1306 に進む。

【0143】ステップ 1306: ステップ 1304 及びステップ 1305 において求められた  $f_u$ 、 $f_d$  及び  $f_c$  に基づいて信号処理装置 10 による演算処理が行われ、各走査方向 40 ~ 44 について、1 又は 2 以上の測定対象との距離  $R$  及び相対速度  $V$  が求められる。ただし、実施の形態 1, 2 の場合と異なり、ビート信号のピーク周波数  $f_u$ 、 $f_d$ 、 $f_c$  は絶対値として求められているため、処理方法が異なる。その後、再びステップ 1301 に戻る。

【0144】図 14 のステップ 1401 ~ 1415 は、図 13 のステップ 1306 (演算処理) の詳細を示したフローチャートであり、2 以上の測定対象までの距離及び相対速度を各走査方向ごとに求めるための処理方法が示されている。以下、図 14 のフローチャートの各ステップについて詳細に説明する。

【0145】ステップ 1401: 走査方向を示すカウンタ DCnt をリセットして、その値がゼロとなり、まず最初の走査方向 40 について以下の演算が行われる。

【0146】ステップ 1402: 図 13 のステップ 1304 で検出された目標候補のスペクトルの周波数  $f_u(i, DCnt)$  ( $i=1, 2, \dots, I$ ) と  $f_d(j, DCnt)$  ( $j=1, 2, \dots, J$ ) について、全ての  $i, j$  の組み合わせについて、周波数  $f_{sum}(i, j)$  と周波数差  $f_{dif}(i, j)$  を次式 (37), (38) により求める。

【数 16】

※較して、次式 (39) 又は (40) を満足する  $f_c(l)$  ( $l$ )、 $f_u(m)$ 、 $f_d(n)$  の 1 又は 2 以上の組み合わせを正しい組み合わせとして選択する。

【数 17】

【0149】ステップ 1405:  $f_c(l) = f_{sum}(m, n)$  の場合、まず、距離周波数  $f_r(m, n)$  を周波数差  $f_{dif}(m, n)$  とする。

【0150】ステップ 1406: 次に、 $f_u(m)$  と  $f$

$d(n)$  の大きさを比較し、 $f_u(m) \geq f_d(n)$  であればステップ 1407 へ進み、 $f_u(m) < f_d(n)$  であればステップ 1408 へ進む。

【0151】ステップ 1407：速度周波数  $f_p(m, n)$  を  $f_{sum}(m, n)$  としてステップ 1413 へ進む。

【0152】ステップ 1408：速度周波数  $f_p(m, n)$  を  $-f_{sum}(m, n)$  としてステップ 1413 へ進む。

【0153】ステップ 1409：一方、 $f_c(1) \neq f_{sum}(m, n)$  の場合、まず、距離周波数  $f_r(m, n)$  を  $f_{sum}(m, n)$  とする。

【0154】ステップ 1410：次に、 $f_u(m)$  と  $f_d(n)$  の大きさを比較し、 $f_u(m) \geq f_d(n)$  で\*

$$R_{mn} = \frac{C \cdot f_m \cdot \Delta f}{4} f_r(m, n) \quad (41)$$

$$V_{mn} = \frac{C \cdot f_0}{2} f_p(m, n) \quad (42)$$

【0158】ステップ 1414：走査方向を示すカウンタ DCnt をインクリメントして、次の走査方向 41、42、…が処理の対象とされる。

【0159】ステップ 1415：カウンタ DCnt が 5 未満であればステップ 1402 に戻り、新たな走査方向について同様の動作（ステップ 1402～1414）を繰り返す。カウンタ DCnt が 5 以上であれば全ての走査方向 40～44 について走査が完了しているため、当該処理を終了して図 13 のステップ 1301 に戻る。

【0160】本実施の形態によるレーダ装置では、送信波と受信波をミキサー 17 によって検波する際、ビート信号の同相成分のみを用いているが、このようなレーダ装置においても、実施の形態 1 と同様の効果を得ることができる。すなわち、周波数成分の誤組み合わせを防止して、測定対象が 2 以上存在する場合でも正しく測定しようとする場合に、測距周期の増加、機構系の複雑化あるいは高価格化、走査範囲の狭域化の問題を引き起こすことがない。従って、測定対象までの距離及び相対速度を精度良く求めることができる。

【0161】なお、本実施の形態では、実施の形態 1 で用いられた送受信波、すなわち、図 2 に示された送受信波をミキサー 17 によって検波する際、ビート信号の同相成分のみを用いるレーダ装置の例について説明したが、本発明は、実施の形態 2 で説明した送受信波、すなわち図 9 に示された送受信波その他の送受信波がミキサー 17 で検波されるレーダ装置についても適用することができ、同様の効果を得ることができる。

【0162】

【発明の効果】本発明によるレーダ装置は、第 1 の送信波及び第 2 の送信波を生成し、第 1 の送信波及び第 2 の送信波を走査周期に同期して切り替えて送出している。

\*あればステップ 1411 へ進み、 $f_u(m) < f_d(n)$  であればステップ 1412 へ進む。

【0155】ステップ 1411：速度周波数  $f_p(m, n)$  を  $f_{dif}(m, n)$  としてステップ 1413 へ進む。

【0156】ステップ 1412：速度周波数  $f_p(m, n)$  を  $-f_{dif}(m, n)$  としてステップ 1413 へ進む。

【0157】ステップ 1413：ステップ 1405～1412 で求められた  $f_r(m, n)$ 、 $f_p(m, n)$  から、次式 (41)、(42) により距離  $R_{mn}$  及び相対速度  $V_{mn}$  が求められる。

【数 18】

これらの送信波は、それぞれが周波数上昇区間、周波数下降区間及び周波数無変調区間の 2 以下の区間からなり、各区間は、第 1 の送信波又は第 2 の送信波のいずれかに含まれている。

【0163】このため、周波数上昇区間、周波数下降区間及び周波数無変調区間における送信波及び受信波に基づいて、2 以上の測定対象が存在する場合であっても、測定対象との距離又は相対速度を測定することができるだけでなく、周波数上昇区間、周波数下降区間及び周波数無変調区間からなる送信波を用いる必要がなく、走査中の一方向当たりの測定周期を短くすることができる。

【0164】従って、測定精度の低下、機構系の複雑化又は高価化、走査範囲の狭域化などの問題を引き起こすことなく、測定対象が 2 以上存在する場合でも各測定対象の距離又は相対速度について高精度の測定を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の実施の形態 1 によるレーダ装置の一構成例を示したブロック図である。

【図 2】 図 1 のレーダ装置 1 の送受信波形の一例を示した図である。

【図 3】 図 1 のレーダ装置 1 の走査方向の一例を示した図である。

【図 4】 発振器 11 により生成される送信波の切替タイミングの一例を示した図である。

【図 5】 本発明の実施の形態 1 によるレーダ信号処理方法の一例を示したフローチャートである。

【図 6】 図 5 のステップ 504（上昇・下降変調信号による走査）の詳細を示したフローチャートである。

【図 7】 図 5 のステップ 505（無変調信号による走査）の詳細を示したフローチャートである。

【図 8】 図 5 のステップ 506（演算処理）の詳細を示したフローチャートである。

【図 9】 図 1 のレーダ装置 1 の送受信波形の他の例を示した図である（実施の形態 2）。

【図 10】 発振器 11 により生成される送信波の切替タイミングの一例を示した図である。

【図 11】 本発明の実施の形態 2 によるレーダ信号処理方法の一例を示したフローチャートである。

【図 12】 図 11 のステップ 1105（無変調信号による走査）の詳細を示したフローチャートである。

【図 13】 本発明の実施の形態 3 によるレーダ信号処理方法の一例を示したフローチャートである。

【図 14】 図 13 のステップ 1306 の詳細を示したフローチャートである。

【図 15】 従来のレーダ装置を用いて 1 つの測定対象についてレーダ測定を行う場合の様子を示した図である。

【図 16】 図 15 のレーダ装置 71 の送受信波形の一例を示した図である。

【図 17】 図 16 の送受信波に基づいて求められるビート信号のパワースペクトルの一例を示した図である。

【図 18】 従来のレーダ装置を用いて 2 つの測定対象についてレーダ測定を行う場合の様子を示した図である。

【図 19】 測定対象が 2 つの場合に求められるビート信号のパワースペクトルの一例を示した図である。

【図 20】 従来のレーダ装置 71 の送受信波形の他の例を示した図である。

【図 21】 離反、接近する各測定対象について、レーダ装置 71 の送受信波形と、そのビート信号の例を示した図である。

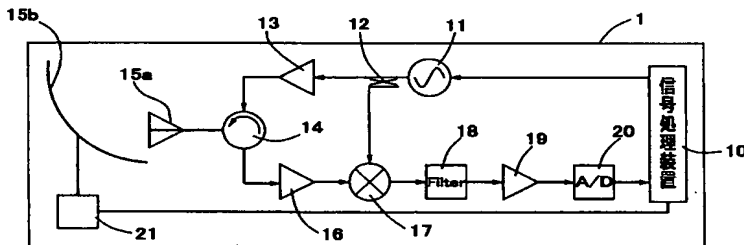
【図 22】 測定対象が複数存在する場合における従来のレーダ信号処理方法を示すフローチャート図である。

【図 23】 図 22 に引き続き、従来のレーダ信号処理方法を示すフローチャート図である。

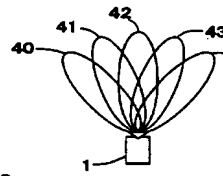
#### 【符号の説明】

1 レーダ装置、10 信号処理装置、11 発振器、12 パワーデバイダ、13 送信アンプ、14 サークキュレータ、15a ホーンアンテナ、15b アンテナ反射鏡、16 受信アンプ、17 ミキサー、18 フィルタ、19 アンプ、20 A/D変換器、21 アンテナ走査用モータ、31 周波数上昇区間、32 周波数下降区間、33 周波数無変調区間、34 周波数無変調区間、40～44 走査方位、 $f_u$  周波数上昇区間のビート周波数、 $f_d$  周波数下降区間のビート周波数、 $f_m$  周波数無変調区間のビート周波数、 $f_0$  中心周波数、 $\Delta f$  変調幅、

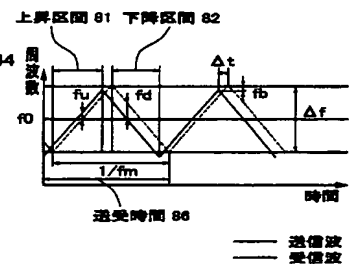
【図 1】



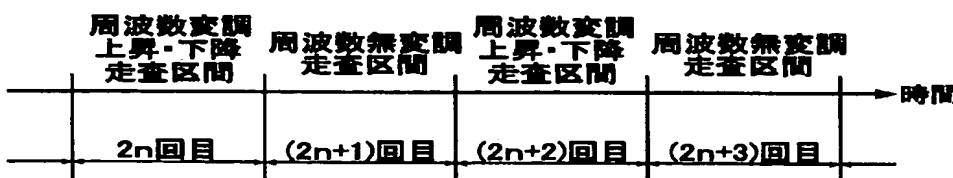
【図 3】



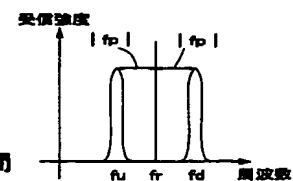
【図 16】



【図 4】

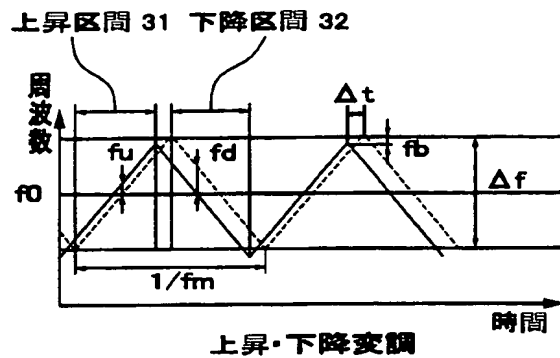


【図 17】

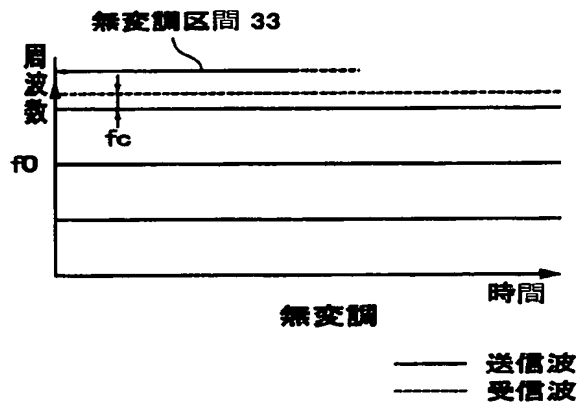


【図2】

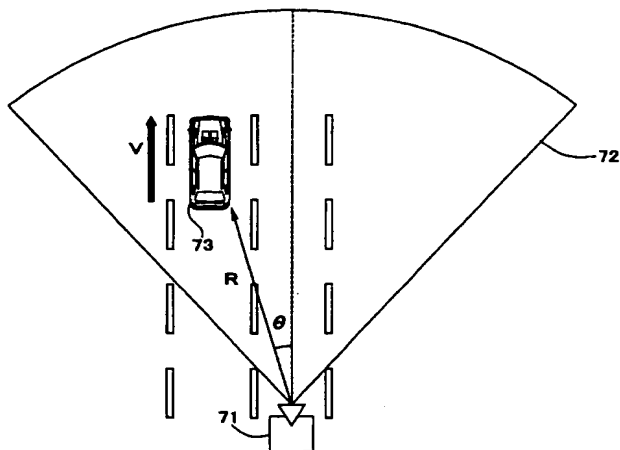
(a)



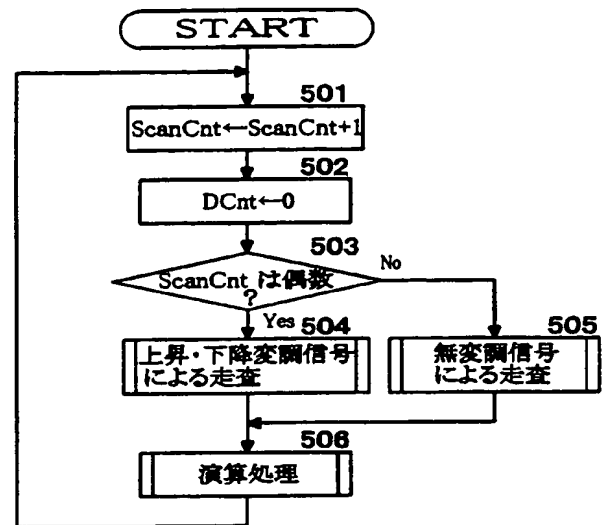
(b)



【図15】

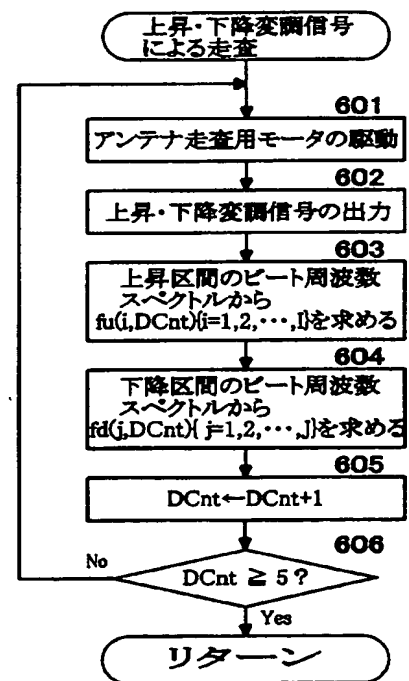


【図5】



【図6】

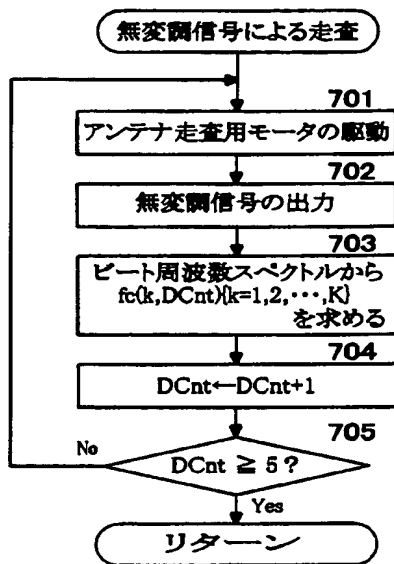
図5のステップ504



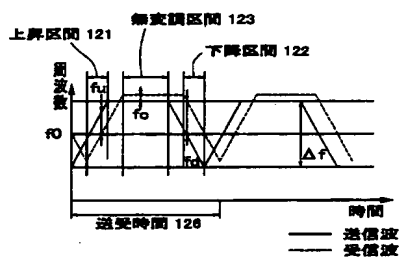


【図7】

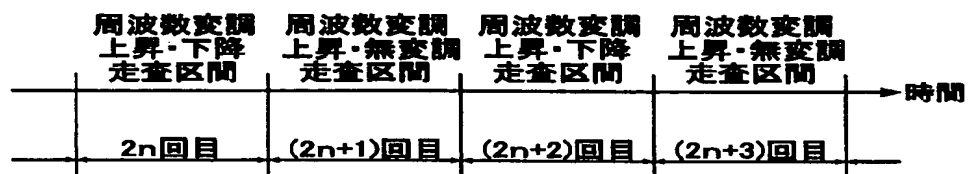
図5のステップ505



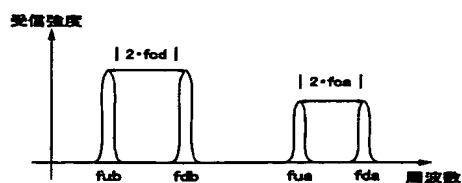
【図20】



【図10】

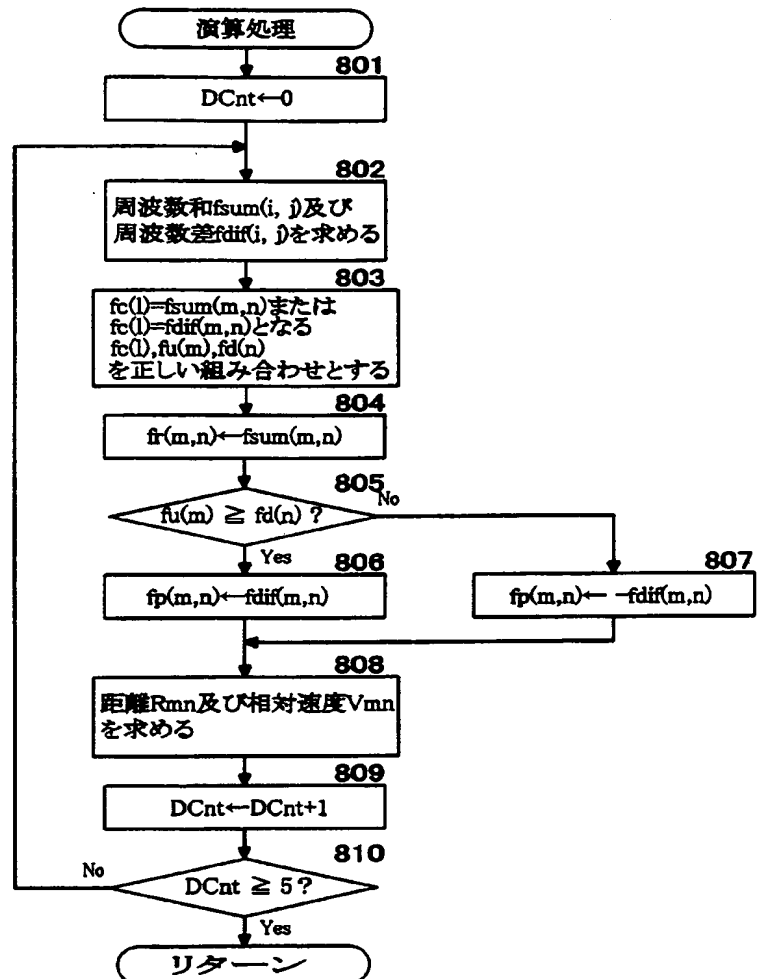


【図19】

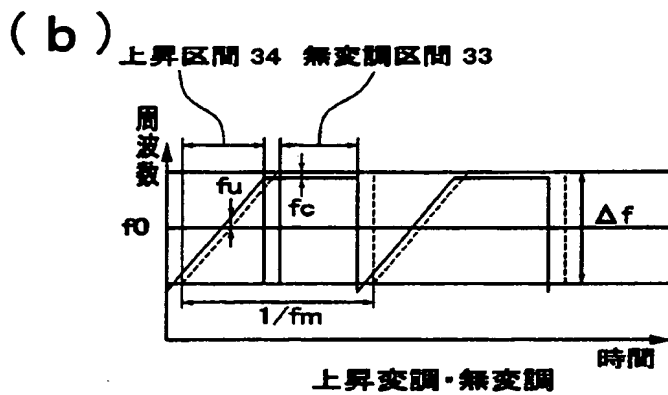
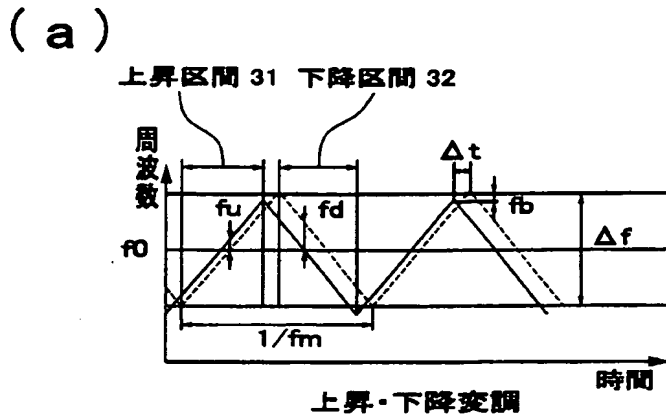


【図8】

図5のステップ506

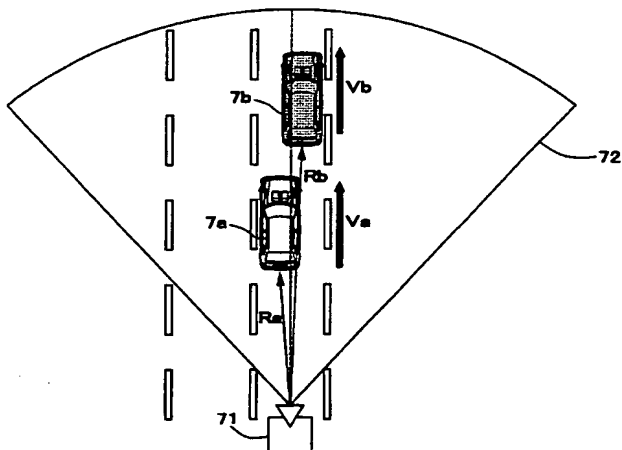


【図9】



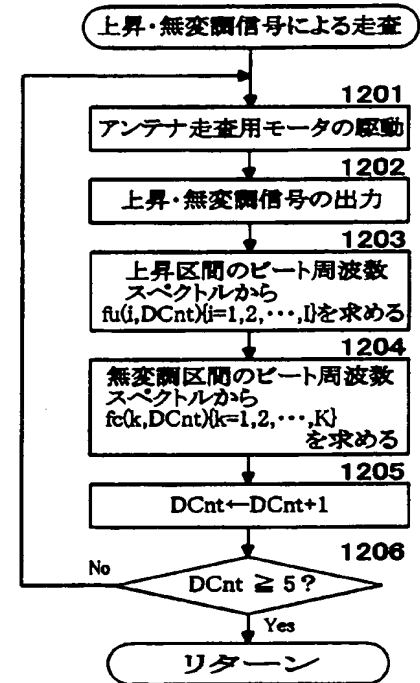
—— 送信波  
 - - - 受信波

【図18】

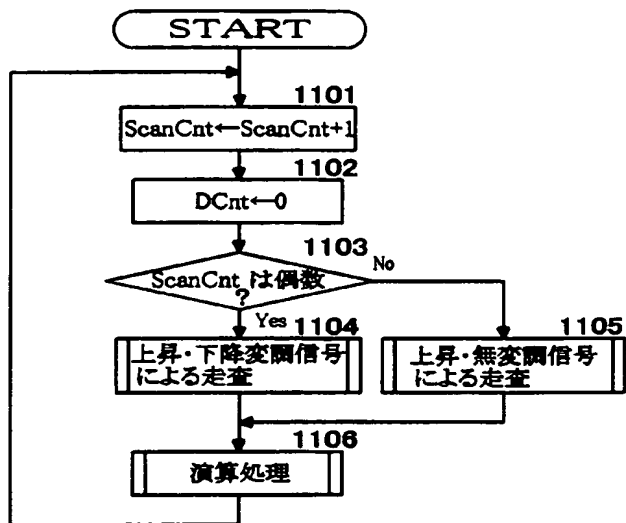


【図12】

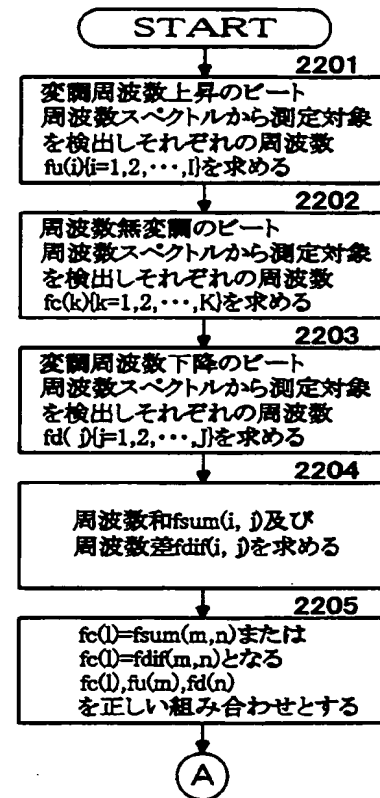
図11のステップ1105



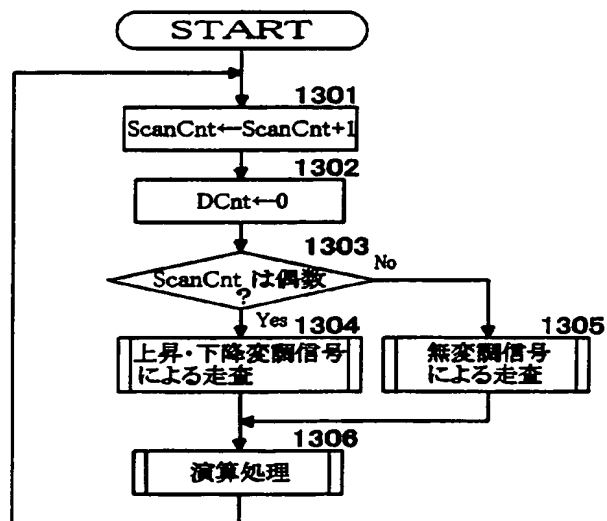
【図 11】



【図 22】

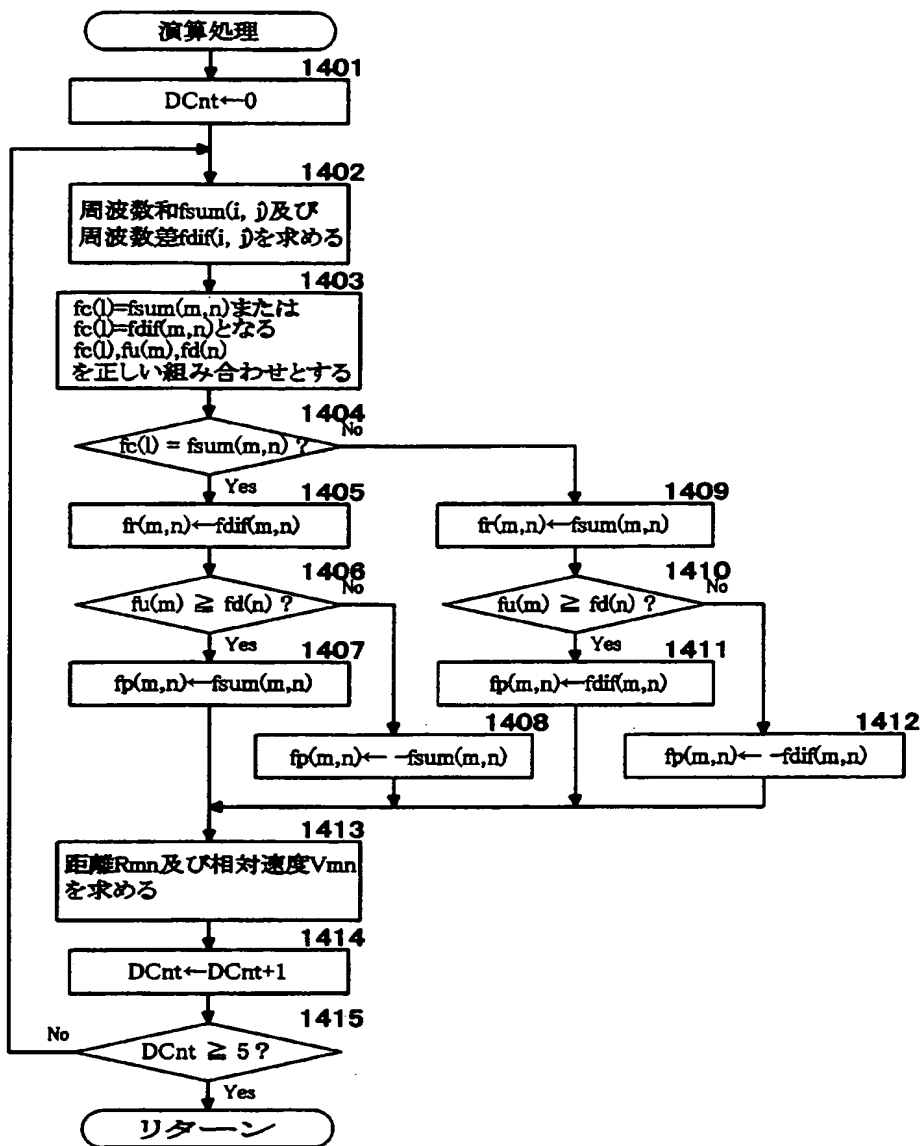


【図 13】



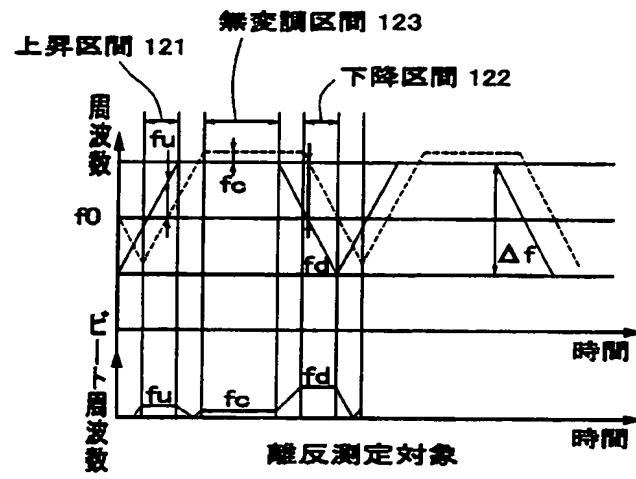
【図 14】

図 13 のステップ 1306

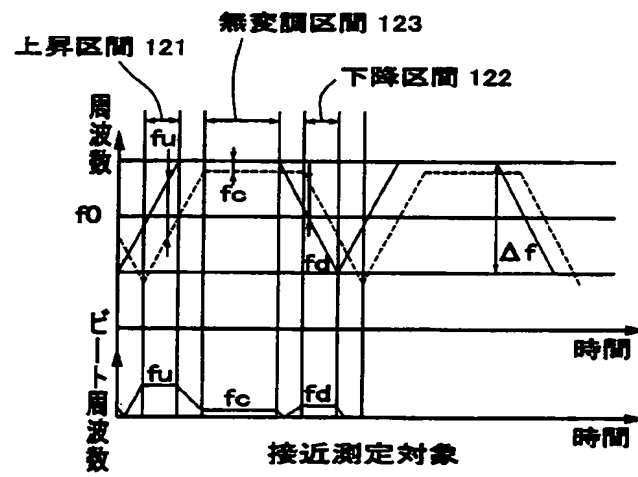


【図 21】

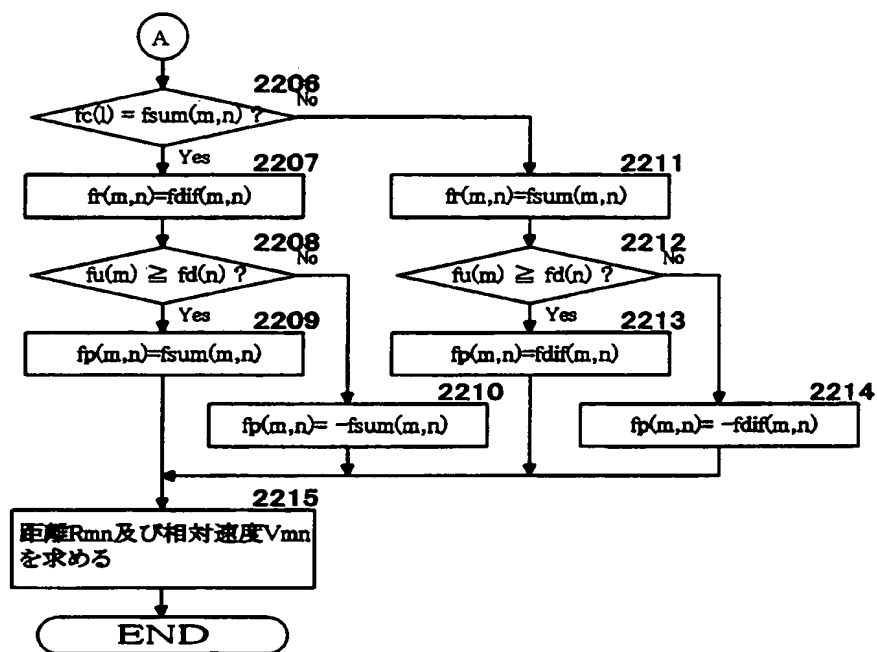
(a)



(b)



【図 23】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5J070 AB19 AB22 AC02 AC06 AC13  
 AE01 AF01 AH23 AH26 AH31  
 AH39 AK15 AK22 BA01